

Bożena ORLIK-KOŹDOŃ (orcid id: 0000-0002-4905-3037)

Agnieszka SZYMANOWSKA-GWIŹDŹ (orcid id: 0000-0001-6157-1964)

Tomasz STEIDL (orcid id: 0000-0002-9277-1392)

Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

## ANALIZA CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWA MURÓW O ZŁOŻONEJ STRUKTURZE NA PRZYKŁADZIE MURU PRUSKIEGO

Ściany wykonywane w konstrukcji murowej w przeważającej większości budynków mają prostą strukturę materiałową. Mur pruski natomiast to rodzaj konstrukcji szkieletowej z drewna wypełnionej różnymi materiałami budowlanymi, ale najczęściej cegłą ceramiczną, gliną mieszaną ze słomą czy też trzcina. Daje to osobliwą architekturę i oryginalny wygląd budynków, stwarzając jednocześnie duże problemy w czasie, kiedy priorytetem działań w budownictwie staje energooszczędność. W artykule przedstawiono analizę cieplno-wilgotnościową ściany z muru pruskiego z projektowanym dociepleniem od strony wewnętrznej w pomieszczeniach mieszkalnych. Zastosowano dwa materiały do docieplenia: wełnę skalną i EPS. Porównano zachowanie się ściany pod względem zawartości wody w poszczególnych materiałach po roku eksploatacji.

**Słowa kluczowe:** mur pruski, docieplenie wewnętrzne, kondensacja międzywarstwowa, przyrost wilgoci w warstwie w czasie użytkowania

### WPROWADZENIE

Mur pruski stał się bardzo popularny w budownictwie mieszkalnym i gospodarczym szczególnie w takich krajach europejskich, jak: Anglia, Niemcy, Francja, Holandia, Szwecja. Jak podają dane historyczne, w Polsce wyróżnia się kilka typów domów o konstrukcji szachulcowo-ryglowych: dolnośląski, kaszubski, lubuski, sudecki oraz wielkopolski, który spotkać można również na Pomorzu i Kujawach. Wśród zachowanych do dzisiaj przykładów domów z muru pruskiego na Śląsku pokazną grupę stanowią budynki zgromadzone w obrębie osiedli wybudowanych w ramach tzw. osiedli patronackich. Pochodzą one głównie z przełomu XIX i XX w., a ich powstanie związane jest przede wszystkim z rozwojem przemysłu w tym rejonie. Do takich należy np. kolonia robotnicza w Zabrze Rokitnicy, związana z Kopalnią Węgla Kamiennego „Castellengo” hrabiego Ballestrema. Budynki takie powstawały w obrębie osiedli mieszkaniowych wraz z całym zespołami budynków i urządzeń socjalnych, przeznaczonych pierwotnie dla robotników. Obiekty o takiej konstrukcji występują też m.in. w osiedlach Bytomia i Rudy Śląskiej, Czerwionki-Leszczyn.

Zabytkowy charakter obiektów i potrzeba wyeksponowania fasad całości osiedla nie pozwalają na wykonanie docieplenia od strony zewnętrznej. Jedynym działaniem,

pozwalającym na obniżenie strat ciepła przez przegrody zewnętrzne, pozostało docieplenie od strony wewnętrznej.

Współczesne wymagania z zakresu ochrony cieplnej dla budynków określa rozporządzenie [1]. Dotyczą one m.in. wartości izolacyjności termicznej przegród oraz niedopuszczenia do kumulacji kondensatu pary wodnej między warstwami przegród. W obiektach nowo projektowanych spełnienie tych warunków jest dość proste dzięki zaprojektowaniu odpowiedniej grubości materiału termoizolacyjnego stosowanego od strony zewnętrznej. Przy dociepleniu od strony wewnętrznej, zdaniem autorów, należy stosować metody projektowania oparte o symulacje zachowania się przegrody przez okres 1-3 lat tak, aby projektowane docieplenie nie pogorszyło stanu całej przegrody i poszczególnych jej elementów pod względem cieplno-wilgotnościowym.

## 1. PRZEDMIOT I ZAKRES ANALIZ

Przedmiotem analizy jest ściana zewnętrzna wykonana w technologii muru pruskiego istniejąca w budynku mieszkalnym położonym w Czerwionce-Leszczynach przy ulicy Kombatantów (rys. 1). Budynek i całe osiedle wpisane jest do rejestru zabytków pod numerem A/1550/95 jako element układu urbanistycznego dawnego osiedla robotniczego KW „Dębieńsko” [2]. Ściany kondygnacji poddasza wykonano w technologii muru pruskiego. Budynek wzniesiono w technologii tradycyjnej, z cegły, z elementami muru pruskiego. Obiekt założono na planie prostokąta, szerokimi ryzalitami od frontowej i od podwórzowej strony, podpiwniczony, dwukondygnacyjny, z użytkowym poddaszem. Elewacje wykończono w cegle licowej, z elementami cegły szkliwionej w kolorze białym (kształtki), tworzącej układy czworokątnych płycin; w elewacji od strony podwórza w obrębie ryzalitu konstrukcja muru pruskiego. Przegrody zewnętrzne piętra wykonano w technologii muru pruskiego. Konstrukcja muru pruskiego wypełnia szczyt ryzalitu elewacji podwórzowej od górnego poziomu okien drugiej kondygnacji. Tworzy ją układ pionowych słupów o wymiarach 19x12 cm, poziomych podwalin, o wymiarach ok. 19x12 cm oraz rygli dzielących płaszczyzny pomiędzy słupami na mniejsze pola. Przestrzenie pomiędzy elementami drewnianymi wypełnia ceglany mur, od strony wnętrza budynku otynkowany, od zewnętrznej strony wykończony prostokątnymi ceramicznymi szkliwionymi płytkami w kolorze białym. Całkowita grubość muru to 38 cm, w tym 12 cm wypełnienie między słupami drewnianymi, a 25 cm od strony wewnętrznej.

Budynek objęto badaniami, w ramach których wykonano:

- rozpoznanie budowy przegród zewnętrznych (elementy inwentaryzacji) poprzez pomiary oraz wykonanie niezbędnych odkrywek,
- pomiary wilgotności powierzchniowej przegród od strony wewnętrznej,
- pomiary pól temperatur powierzchni wewnętrznych metodą termowizyjną.



Rys. 1. Budynki przy ul. Kombatantów w Czerwionce-Leszczynach

Na potrzeby projektowania izolacji od strony wewnętrznej wykonano szereg obliczeń cieplno-wilgotnościowych uproszczonych i dokładnych, z których w artykule omówiono prognozowanie zachowania się przegrody po projektowanym dociepleniu od strony wewnętrznej dwoma materiałami termoizolacyjnymi: wełną skalną oraz styropianem [3]. Fragment ściany, dla której prowadzono szczegółowe analizy, pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Fragment ściany, dla której przeprowadzono szczegółową analizę cieplno-wilgotnościową

## 2. MODEL OBLICZENIOWY I WARUNKI BRZEGOWE

Warunki początkowe i brzegowe.

Do przeprowadzenia obliczeń przyjęto następujące warunki początkowe:

$t_i = -20,0^\circ\text{C}$ ;  $t_e = +20,0^\circ\text{C}$ ;  $h_i = 25,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ;  $h_e = 7,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Wykonano kilkanaście pomiarów wilgotności muru ceglanoego oraz wilgotności elementów drewnianych - nie stwierdzono występowania zawilgoceń. Na tej podstawie przyjęto początkową zawartość wilgoci materiałów jak dla stanu równowagi.

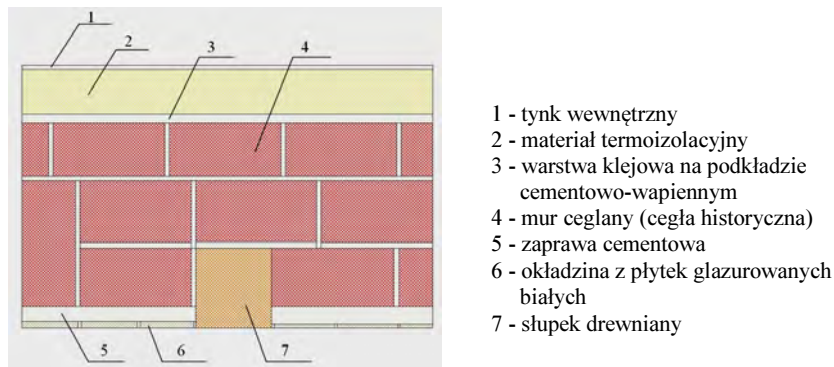
Parametry materiałowe przyjęto z danych bazy programu WUFI 2-3D i podano w tabeli 1. Odległość pomiędzy słupami określono na podstawie pomiarów inwentaryzacyjnych budynku [2].

Tabela 1. Dane materiałowe [6]

Lp.	Materiał	$\lambda$ [W/mK]
1	Zaprawa wapienna drobna 1785 kg/m <sup>3</sup>	0,70
2	Cegła pełna historyczna 1850 kg/m <sup>3</sup>	0,60
3	Drewno twarde 650 kg/m <sup>3</sup>	0,13
4	Zaprawa cementowo-wapienna grubsza 1910 kg/m <sup>3</sup>	0,80
5	Włna mineralna 30 kg/m <sup>3</sup> , $\mu = 1$	0,035

Warunki brzegowe - mikroklimat wewnętrzny i klimat zewnętrzny. Parametry klimatu wewnętrznego określono jak dla pomieszczeń mieszkalnych. Założono warunki mikroklimatu jak dla pomieszczenia klasy 3 zgodnie z [5]. Określono warunki klimatu zewnętrznego dla obszaru Górnego Śląska (ze stacji meteorologicznej w Katowicach) w postaci temperatur zewnętrznych, wilgotności powietrza, opadów atmosferycznych i nasłonecznienia [6]. Dla ściany zachodniej uwzględniono dodatkowo wpływ zacinającego deszczu (zgodnie z najczęstszym kierunkiem wiatru dla rejonu Śląska). Przyjęto roczny okres symulacji ciepłno-wilgotnościowych. Układ warstw w modelu obliczeniowym pokazano na rysunku 3. Zasady tworzenia modelu oparto o wytyczne zawarte w [3] i [4].

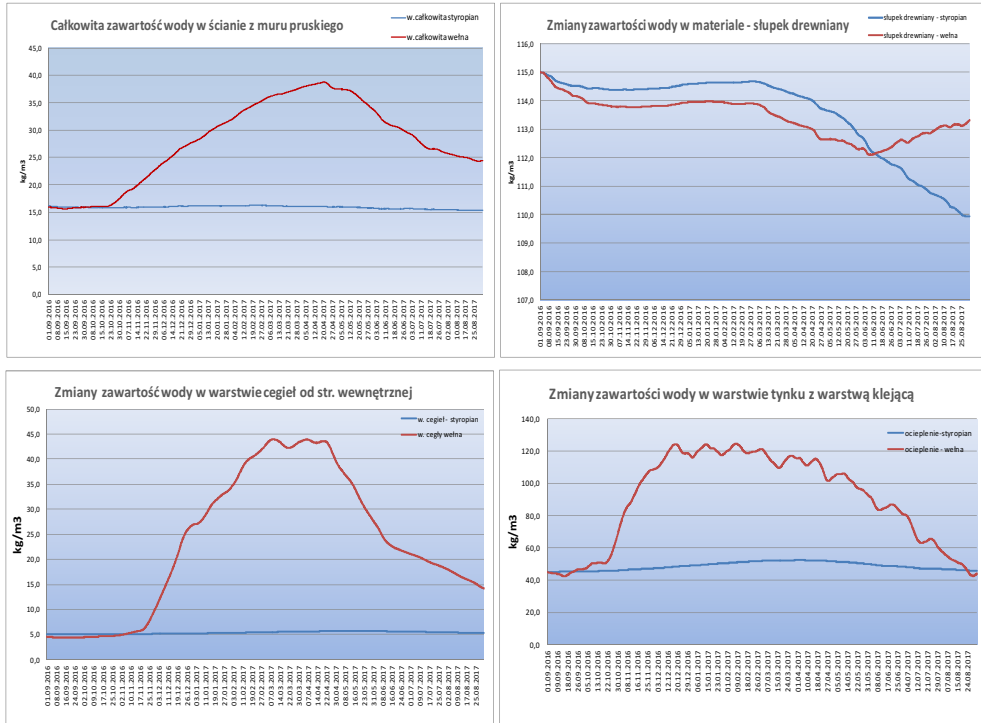
Na potrzeby projektu rozważano zastosowanie dwóch materiałów do termoizolacji: wełny skalnej i EPS.



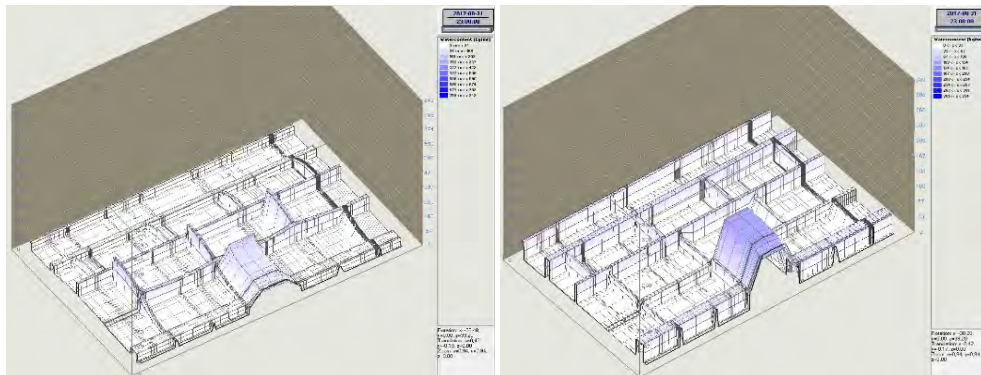
Rys. 3. Układ warstw w analizowanym murze pruskim [2]

### 3. WYNIKI PRZEPROWADZONYCH ANALIZ

Analizy przeprowadzono z wykorzystaniem programu WUFI 2-3D [5] oraz programu EXCEL. Wyniki zaprezentowano w postaci wykresów rocznych zmian ilości wody (rys. 4 i 5) w poszczególnych wybranych miejscach muru [7]: całkowity przyrost w przegrodzie, słupek drewniany, warstwa ceglana przy wewnętrznej stronie ściany, warstwa tynku wewnętrznego na murze z warstwą klejącą. Dodatkowo zobrazowano w układzie 3D końcówką (po jednym roku symulacji) zawartość wody w poszczególnych materiałach w całym układzie muru (rys. 5).



Rys. 4. Zmiany zawartości wody w poszczególnych materiałach przegrody w okresie 1 roku



Rys. 5. Ilość zawartej wody (w widoku 3D) dla ściany izolowanej od wewnątrz styropianem (z lewej) i wełną skalną (z prawej)

## PODSUMOWANIE

Wyniki symulacji fragmentu ściany płaskiej wskazują na znacznie intensywniejszą migrację wody w przypadku ściany docieplonej wełną skalną klejoną na całą powierzchnię ściany, co jest zrozumiałe w przypadku braku folii paroizolacyjnej

ułożonej od strony wewnętrznej. Oba rozpatrywane przypadki nie wykazują znaczącego przyrostu wody w warstwie położonej bezpośrednio pod materiałem termozolacyjnym. Wykonane symulacje nie wskazują jednoznacznie na jeden z materiałów jako wyróżniający się materiał na docieplenie od strony wewnętrznej w rozpatrywanym przypadku. Ponieważ rozpatrywano tylko fragment ściany płaskiej, konieczne jest wykonanie dodatkowych analiz w miejscach szczególnych, w tym: narożach, połączeniach ze ścianami zewnętrznymi i stropem, gdzie wyniki mogą w sposób znaczący odbiegać od przedstawianych w niniejszym artykule. W artykule pokazano jedynie wnioski jakościowe, ograniczona ilość miejsca nie pozwala na szczegółowe omówienie wniosków ilościowych.

## LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. Nr 75, poz. 690 z późn. zm.
- [2] Wiąk-Marzec H., Steidl T., Program prac konserwatorskich dla remontu fragmentu elewacji z murem pruskim w budynku przy ulicy Komendantów nr 1 w Czerwionce-Leszczynach.
- [3] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- [4] PN-EN13788 - Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów i materiałów budowlanych i elementów budynku - Temperatura powierzchni wewnętrznej dla uniknięcia krytycznej wilgotności i kondensacji międzywarstwowej - Metody obliczania.
- [5] Künzel H.M., Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten, Dissertation Universität Stuttgart, 1994.
- [6] Szymanowska-Gwizdź A., Orlik-Kozdoń B., Krause P., Steidl T., Zmiany zawilgocenia przegród budynków historycznych przy zadanych warunkach klimatu zewnętrznego, VI Konferencja Naukowa, Solina 2016, Rzeszów - Polańczyk, 21-25 czerwca 2016.
- [7] Krus M., Künzel H.M., Kießl K., Feuchtetransportvorgänge in Stein und Mauerwerk, Bauforschung für die Praxis, Band 25, IRB-Verlag, Stuttgart 1996.

## Thermal-Moisture Analysis of Walls of Complex Structure on the Example of Prussian Wall

The wall are made in the masonry structure, and predominantly the buildings have a simple material structure. The Prussian wall is a skeletal structure made of wood, filled with various building materials, mostly partly ceramic brick, mixed with straw or other reed. This gives a peculiar architecture and the original look of the buildings, creating a lot of problems while the priorities in building are energy efficiency. The article presents the thermal-moisture wall analysis of the Prussian wall with the design insulation on the inside, in the living room. Two documentation materials were used: rock wool and EPS. The behavior of the wall was compared in terms of the water content of each material after one year of operation

**Keywords:** Prussian wall, internal warming, interlayer condensation, moisture increase in the layer during use